

文章编号:0253-9993(2010)09-1542-06

焦化行业脱硫工艺多级模糊综合评价

田贺忠¹,程 轲¹,许嘉钰²,郝吉明²

(1. 北京师范大学 环境学院,北京 100875;2. 清华大学 环境科学与工程系,北京 100084)

摘 要:针对目前应用最为广泛的8种焦化脱硫工艺,采用多级模糊数学模型,对焦炉煤气脱硫工艺进行了综合评价。模糊评价的因素集由环境指标、经济指标和技术指标三大类因素构成,其中每一因素集又包括更具体的评价指标;通过确定各具体性能指标的隶属函数,并应用层次分析法(AHP)确定各因素集的权重矩阵,对每一大类因素进行初级综合评价,进一步在初级评价结果基础上进行二级模糊综合评价。结果表明,根据最大隶属度原则,PDS+栲胶法是综合性能最优的焦化脱硫工艺。

关键词:焦化;脱硫;多级模糊数学模型;综合评价;焦炉煤气;层次分析法

中图分类号:TQ522.5 **文献标志码:**A

Multi-level fuzzy comprehensive assessment of desulfurization technologies for coking making industry

TIAN He-zhong¹, CHENG Ke¹, XU Jia-yu², HAO Ji-ming²

(1. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The multi-level fuzzy mathematics model was applied to evaluate the comprehensive performance of the current most widely used eight kinds of coke oven gas (COG) desulfurization processes. The first-level factors include environmental indicators, economic indicators and technologies parameters, of which each consists of a few second-level factors. Firstly, the influence of every second-level factor on assessment was expressed in membership functions. Secondly, the analytic hierarchy process (AHP) was used to achieve the weight matrix of each factor set. The primary comprehensive assessment was conducted for the first-level factors, then the secondary comprehensive assessment was conducted on the basis of results from primary assessment. According to the rule of maximum membership value, it shows that the PDS+ Vegetable Tannin Extract Method is the optimal technology for coke oven gas COG desulfurization.

Key words: coking; desulfurization; multi-level fuzzy mathematics model; comprehensive assessment; coke oven gas (COG); analytic hierarchy process (AHP)

烟煤在隔绝空气条件下,加热至950~1050℃,经干燥、热解干馏、熔融、粘结、固化、收缩等阶段,最终生成焦炭的过程称为炼焦^[1]。炼焦过程产生的焦炉煤气既可作为重要的中高热值气体燃料,用于工业和民用,又可作为原料气生产合成氨、甲醇等产品。作为高炉炼铁的重要原料和燃料,随着钢铁工业的高速发展,我国焦炭产量已居世界第一位。

通常,炼焦干煤全硫的质量分数为0.5%~1.2%,其中有20%~45%转到荒煤气中,煤气中95%以上的硫以H₂S形态存在,其他为有机硫。H₂S在煤气使用过程中还可引起设备腐蚀和催化剂中毒,导致生产成本增加和产品质量下降。因此,作为煤气净化系统的重要环节,焦炉煤气在用于燃料气和合成气前需进行脱硫处理。

收稿日期:2010-05-07 责任编辑:许书阁

基金项目:国家自然科学基金资助项目(20677005,40975061);国家环境保护部污染减排监督管理专项课题(2009)

作者简介:田贺忠(1970—),男,河北易县人,副教授,博士生导师。Tel:010-58800176, E-mail:hztian@bnu.edu.cn

近年来,随着国家环保法规的日趋严格及人们环保意识的不断增强,焦化行业焦炉煤气中 H_2S 及其燃烧产物排放对大气环境的污染问题已显得日益突出,严重影响了企业的生存及发展。因此,对焦炉煤气进行脱硫脱氰净化处理达标排放已迫在眉睫。

1 焦炉煤气脱硫技术现状

炼焦煤气脱硫是指对于干馏过程产生的含有大量挥发性物质的荒煤气进行脱硫。近年来,我国已基本掌握了具有世界先进水平的各种脱硫新工艺,可以根据用户的不同要求组合各种焦炉煤气净化流程^[2]。目前,国内外脱硫工艺多达几十种,大体可分为湿法脱硫和干法脱硫两大类^[3]。我国已建成并投产运行的湿式氧化工艺有以氨为碱源的 FRC 法、TH 法、HPF 法、PDS+栲胶和以碳酸钠为碱源的改良 ADA 法等。已建成的湿式吸收工艺有以单乙醇胺为吸收剂的索尔菲班法(Sulfiban 法)、以氨水为吸收剂 AS 循环洗涤法和以碳酸钠为吸收剂的真空碳酸钠法等。

2 模糊综合评价

焦炉煤气脱硫对炼焦行业来说不仅涉及到环境污染问题,通过对焦炉气进行硫产品的回收,还可给企业带来巨大的经济效益。因此如何针对不同炼焦企业的具体情况,选用经济适用、技术可行的脱硫工艺,是一个非常重要的问题。一般来说应考虑以下几点:① 要满足国家有关环境保护标准规定的 H_2S 排放浓度所要求的脱硫率;② 技术成熟,运行可靠,有较多业绩,可用率达 90% 以上;③ 投资不宜太大;④ 能源消耗少、运行费用低;⑤ 脱硫剂有可靠稳定来源,质优价廉;⑥ 脱硫副产品均能得到有效处置和利用,对环境不造成二次污染;⑦ 脱硫装置工艺力求简单,布置合理,占地面积小等。

由于焦炉煤气脱硫是涉及技术、经济和环境等多方面因素的复杂问题,具体评价指标既有定量的又有定性的。如何根据焦化企业实际情况,有效地处理这些定性和定量指标,评估和优选出水平先进、经济适用的控制技术,是非常困难的。针对煤气脱硫工艺评价的多元化和模糊性,本研究拟采用多级模糊评价法对几种常见煤气脱硫技术进行综合评价。

2.1 模糊综合评价简介

综合评价是指对多种因素所影响的事物或现象进行总的评价,若评价过程涉及模糊因素,便是模糊综合评价。模糊综合评价是以模糊集合理论为基础,将评价目标的评判矩阵和模糊矩阵的合成运算融为一体评价方法。它以评判矩阵的建立为基础,通过

德尔斐法(Delphi)对模糊环境中的模糊信息量化,并通过模糊矩阵的合成计算,将量化的无序原始数据转变成有序的、有规律性的生产数据,以达到综合评价的目的^[4]。

模糊综合评判法有 3 方面要素:① 被评价对象的各因素组成的集合 U ;② 评语组成的判断集 V ;③ 单因素判断,即对单个因素 $u_i(i=1,2,\dots,n)$ 的评价,得到 V 上的模糊集 $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$,所以它是从 U 到 V 上的一个模糊映射 $f, f: U \rightarrow F(V); u_i \rightarrow (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 。模糊映射 f 可确定一个模糊关系 $R(n \times m$ 阶评价矩阵),它由所有对单因素评价的 F 集组成。用 U 上的 F 集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 表示各因素的权数分配,它与评价矩阵 R 的乘积就是对各因素的综合评价。

2.2 多级模糊综合评价

多级模糊综合评价,就是在模糊综合评价基础上进行二次甚至多次模糊综合评价^[5-6]。

基本思想:把众多因素按其性质分为若干类,每类包含的因素较少,先按一类中的各个因素进行综合评判,然后再在类之间进行综合评判。如果每类因素还可再分类,则这样的评判还可多次进行下去。其一般步骤如下:

(1) 确定评价因素集。对给定因素集 U , 按照其不同属性划分为 S 个互不相交的因素子集, $U = \{U_1, U_2, \dots, U_S\}$ 。

(2) 进行初级综合评价。对每个 $U_k(k=1, 2, \dots, S)$ 进行初级综合评价,得到对 U_k 的一级综合评价 B_k 。

(3) 对 U 进行综合评价。按照各 U_k 在 U 中所起作用的大小,给出其权重分配 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_S\}$; 由各 U_k 的评价结果 B_k 得出总的评价矩阵 R, A 与 R 的乘积即为对 U 的二级综合模糊评价。如果每类因素还可再分类,则可仿照上述步骤进行 3 级甚至更多级的综合评价。

3 焦炉煤气脱硫技术模糊综合评价

目前,国内主要的焦炉煤气脱硫脱氰工艺有 TH 法、Sulfiban 法、FRC 法、AS 法、HPF 法、真空碳酸钠法、改良 ADA 法和 PDS+栲胶法等 8 种。

有关脱硫工艺的主要技术经济指标对比情况见表 1^[7-11]。表中, Z_1 表示脱硫效率; Z_2 表示脱硫废液处理; Z_3 表示产品销售情况; Z_4 表示投资额; Z_5 表示年运行成本; Z_6 表示煤气处理量; Z_7 表示脱硫碱源获得与处理能力; Z_8 表示终冷水量; Z_9 表示生产稳定性; Z_{10} 表示生产独立性。

表 1 8 种焦炉煤气脱硫工艺对照

Table 1 The comparison analysis of eight types of COG desulfurization technologies

项 目	TH 法	Sulfiban 法	FRC 法	AS 法	HPF 法	真空碳酸钠法	改良 ADA 法	PDS+栲胶法
应用厂家	宝钢 1 期	宝钢 2 期	宝钢 3 期	首钢	无锡焦化厂等	安钢	梅山焦化厂等	山东兖矿国际焦化公司等
$Z_1/\%$	98.3	97.0	99.7	92.0	95.0	99.5	99.5	99.3
Z_2	废液氧化生成硫铵母液	无	废液焚烧生产硫酸	无	废液掺入炼焦煤	无	废液蒸发结晶生产粗制产品	废液掺入炼焦煤
Z_3	生产硫铵/中间产品	作硫铵工段原料/不外销	作硫铵工段原料/不外销	一般	难	一般	难	一般
$Z_4/\text{万元}$	8 187	7 283	6 527	3 000	2 211	6 700	2 211	2 211
$Z_5/\text{万元}$	1 452	795	1 005	855	603	800	690	603
$Z_6/(\text{km}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	82.8	105.0	88.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
脱硫碱源	煤气中氨	MEA	煤气中氨	氨水	煤气中氨	碳酸钠	碳酸钠	煤气中氨
Z_7	容易	差	容易	一般	容易	差	差	容易
Z_8	少	少	少	少	少	少	多	少
Z_9	稳定	较稳定	稳定	较稳定	较稳定	稳定	一般	稳定
Z_{10}	好	差	差	好	好	好	差	好

采用模糊评价法对以上 8 种脱硫工艺进行综合评价,评价指标包括脱硫效率、脱硫废液处理情况、煤气处理量、脱硫碱源获得与处理能力、终冷水量、生产稳定性、生产独立性、产品销售情况、投资额、年运行成本等。

3.1 评价因素集

根据上述评价指标体系,确定的焦化脱硫因素集如下:

$U = \{U_1, U_2, U_3\} = \{\text{环境指标, 经济指标, 技术指标}\}$

$U_1 = \{\text{脱硫效率, 脱硫废液处理情况}\} = \{Z_1, Z_2\}$

$U_2 = \{\text{产品销售情况, 投资额, 年运行成本}\} = \{Z_3, Z_4, Z_5\}$

$U_3 = \{\text{煤气处理量, 脱硫碱源获得与处理能力, 终冷水量, 生产稳定性, 生产独立性}\} = \{Z_6, Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}\}$

3.2 隶属函数的确定

(1) 根据一般脱硫要求, 确定脱硫效率的约束条件为 $25\% \leq X \leq 100\%$, 采用线性隶属函数, 即

$$u_{11}(X) = \begin{cases} 0 & (X \leq 25) \\ \frac{X - 25}{100 - 25} & (25 < X \leq 100) \end{cases} \quad (1)$$

(2) 将脱硫废液处理情况分为无废液、掺入炼焦煤、生成硫铵母液、生产粗制品和生产硫酸等 5 种不同情形, 分别定为 0~5 级, 见表 2。用隶属函数表达, 即

$$u_{12}(X) = \frac{X}{5} \quad (0 \leq X \leq 5) \quad (2)$$

(3) 将产品销售情况分为不外销、一般、难、容易等 4 种情况, 分别定为 0~4 级, 见表 3。用隶属函数表达, 即

$$u_{21}(X) = \frac{X}{4} \quad (0 \leq X \leq 4) \quad (3)$$

表 2 脱硫废液处理情况

Table 2 Desulfurization wastewater treatment

废液处理	掺入炼焦煤	生成硫铵母液	生产粗制品	生产硫酸	无废液
级别	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5

表 3 产品销售情况

Table 3 The product sales

销售情况	不外销	一般	难	容易
级别	0~1	1~2	2~3	3~4

(4) 将投资额 $>9\ 000$ 万元视为高投资, 投资额 $<2\ 000$ 万元视为低投资, 隶属度用降半梯形分布函数来描述, 即

$$u_{22}(X) = \begin{cases} 0 & (X > 9\ 000) \\ \frac{9\ 000 - X}{9\ 000 - 2\ 000} & (2\ 000 \leq X \leq 9\ 000) \\ 1 & (X < 2\ 000) \end{cases} \quad (4)$$

(5) 将年运行成本 $>2\ 000$ 万元视为高成本, 年运

行成本<500万元视为低成本,隶属度可用降半梯形分布来描述,即

$$u_{23}(X) = \begin{cases} 0 & (X > 2000) \\ \frac{2000 - X}{2000 - 500} & (500 \leq X \leq 2000) \\ 1 & (X < 500) \end{cases} \quad (5)$$

(6)根据脱硫要求,确定煤气处理量约束条件为 $30 \leq X \leq 120 \text{ km}^3/\text{h}$,采用线性隶属函数,则隶属度为

$$u_{31}(X) = \begin{cases} 0 & (X \leq 30) \\ \frac{X - 30}{120 - 30} & (30 \leq X \leq 120) \end{cases} \quad (6)$$

(7)将脱硫碱源获得与处理能力分为差、一般、较容易和容易等4种情况,分别定为0~4级,见表4。用隶属函数表达,即

$$u_{32}(X) = \frac{X}{4} \quad (0 \leq X \leq 4) \quad (7)$$

表4 脱硫碱源获得与处理能力

Table 4 The access & processing capacity of desulfurization alkali sources

获得与处理能力	差	一般	较容易	容易
级别	0~1	1~2	2~3	3~4

(8)将终冷水量分为少、一般和多等3种情况,分别定为0~3级,见表5。用隶属函数表达,即

$$u_{33}(X) = \frac{X}{3} \quad (0 \leq X \leq 3) \quad (8)$$

(9)根据各工艺在运行过程中的稳定情况,将生

产稳定性分为差、一般、较稳定和稳定等4种情况,分别定为0~4级,见表6。用隶属函数表达,即

$$u_{34}(X) = \frac{X}{4} \quad (0 \leq X \leq 4) \quad (9)$$

表5 终冷水量

Table 5 The additional water of final cooling system

终冷水量	多	一般	少
级别	0~1	1~2	2~3

表6 生产稳定性

Table 6 The production stability

生产稳定性	差	一般	较稳定	稳定
级别	0~1	1~2	2~3	3~4

(10)根据各工艺不同环节的独立性,将生产独立性分为差、一般、良好和好等4种情况,分别定为0~4级,见表7。用隶属函数表达,即

$$u_{35}(X) = \frac{X}{4} \quad (0 \leq X \leq 4) \quad (10)$$

表7 生产独立性

Table 7 The production independence

生产独立性	差	一般	良好	好
级别	0~1	1~2	2~3	3~4

利用表1中的数据,根据以上所述的各隶属函数表达式,可计算得到各类技术对应具体指标的隶属度,见表8。

表8 8种焦化煤气脱硫技术具体各项指标的隶属度

Table 8 The membership of indicators for eight types of COG desulfurization technologies

项目	TH法	Sulfiban法	FRC法	AS法	HPF法	真空碳酸钠法	改良ADA法	PDS+栲胶法
Z ₁	0.977	0.960	0.996	0.893	0.933	0.993	0.996	0.991
Z ₂	0.3	0.9	0.7	0.9	0.1	0.9	0.5	0.1
Z ₃	0.125	0.125	0.125	0.375	0.625	0.375	0.625	0.375
Z ₄	0.116	0.245	0.353	0.857	0.970	0.329	0.970	0.970
Z ₅	0.365	0.803	0.663	0.763	0.931	0.800	0.873	0.931
Z ₆	0.587	0.833	0.644	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
Z ₇	0.875	0.125	0.875	0.375	0.875	0.125	0.125	0.875
Z ₈	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.167	0.833
Z ₉	0.875	0.625	0.875	0.625	0.625	0.875	0.375	0.875
Z ₁₀	0.875	0.125	0.125	0.875	0.875	0.875	0.125	0.875

3.3 权数向量矩阵的确定

应用层次分析法(AHP)确定各组因素的权重^[12]。首先,分层次构造评价指标判断矩阵,给出两两指标间的相对重要性,用自然数1、2、…、9及其倒

数表示。1表示两个指标同等重要,3表示前者比后者稍微重要,5表示前者比后者明显重要,7表示前者比后者强烈重要,9表示前者比后者极端重要,而2、4、6、8表示介于相邻评价指标之间。然后,计算各组

指标的权重,并进行一致性检验。

模糊综合评价因素权重见表 9,对其进行一致性检验:最大特征根 $\lambda_{\max} = 3.009$,判断矩阵的一致性指标 $C_1 = 0.005$,判断矩阵的随机一致性指标比值 $C_R = 0.009 < 0.1$,满足要求。

表 9 模糊综合评价因素权重

Table 9 The weights of first-level factors

评价指标	环境指标	经济指标	技术指标	权重 A
环境指标	1	2	3	0.527
经济指标	1/2	1	2	0.306
技术指标	1/3	1/2	1	0.167

环境指标权重见表 10,对其进行一致性检验:最大特征根 $\lambda_{\max} = 2$,判断矩阵一致性指标 $C_1 = 0$,判断矩阵的随机一致性指标比值 $C_R = 0 < 0.1$,满足要求。

表 10 环境指标权重

Table 10 The weights of environmental indicators

评价指标	Z_1	Z_2	权重 A_1
Z_1	1	5	0.87
Z_2	1/5	1	0.13

经济指标权重见表 11,对其进行一致性检验:最大特征根 $\lambda_{\max} = 3.087$,判断矩阵一致性指标 $C_1 = 0.044$,判断矩阵的随机一致性指标比值 $C_R = 0.084 < 0.1$,满足要求。

表 11 经济指标权重

Table 11 The weights of economic indicators

评价指标	Z_3	Z_4	Z_5	权重 A_2
Z_3	1	1/7	1/4	0.075
Z_4	7	1	4	0.692
Z_5	4	4/1	1	0.233

技术指标权重见表 12,对其进行一致性检验:最大特征根 $\lambda_{\max} = 5.147$,判断矩阵的一致性指标 $C_1 =$

$$R = \begin{bmatrix} 0.842 & 0.948 & 0.937 & 0.894 & 0.766 & 0.974 & 0.897 & 0.813 \\ 0.175 & 0.366 & 0.408 & 0.811 & 0.935 & 0.442 & 0.922 & 0.916 \\ 0.777 & 0.392 & 0.652 & 0.591 & 0.830 & 0.478 & 0.289 & 0.833 \end{bmatrix}$$

U 的综合评价为

$$B = AR = (0.652, 0.679, 0.738, 0.818, 0.859, 0.732, 0.821, 0.881)$$

经归一化,得

$$B = (0.105, 0.110, 0.119, 0.132, 0.139, 0.118, 0.133, 0.142)$$

0.037,判断矩阵的随机一致性指标比值 $C_R = 0.033 < 0.1$,满足要求。

表 12 技术指标权重

Table 12 The weights of technology parameters

评价指标	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	权重 A_3
Z_6	1	1/5	1/3	1/4	2	0.082
Z_7	5	1	3	2	6	0.433
Z_8	3	1/3	1	1/2	4	0.179
Z_9	4	1/2	2	1	3	0.243
Z_{10}	1/2	1/6	1/4	1/3	1	0.063

3.4 模糊综合评价结果

3.4.1 初级评价

(1) 环境指标。综合考虑专家意见和焦炉煤气脱硫的实际情况,建立权数向量矩阵为

$$A_1 = (0.87, 0.13)$$

隶属度矩阵 R_1 见表 8,进行模糊线性加权变换,可得

$$B_1 = A_1 R_1 = (0.889, 0.952, 0.958, 0.894, 0.825, 0.981, 0.932, 0.875)$$

(2) 经济指标。综合考虑专家意见和脱硫的实际情况,建立权数向量矩阵为

$$A_2 = (0.075, 0.692, 0.233)$$

隶属度矩阵 R_2 见表 8,进行模糊线性加权变换,可得

$$B_2 = A_2 R_2 = (0.175, 0.366, 0.408, 0.811, 0.935, 0.442, 0.922, 0.916)$$

(3) 技术指标。结合专家意见和脱硫的实际情况,建立权数向量矩阵为

$$A_3 = (0.082, 0.433, 0.179, 0.243, 0.063)$$

隶属度矩阵 R_3 见表 8,进行模糊线性加权变换,可得

$$B_3 = A_3 R_3 = (0.777, 0.392, 0.652, 0.591, 0.830, 0.478, 0.289, 0.833)$$

3.4.2 二级评价

环境指标、经济指标和技术指标三大因素的权数分配为 $A = (0.527, 0.306, 0.167)$,由各 U_k 的评价结果 $B_k (k=1, 2, 3)$ 得出总的评价矩阵为

3.4.3 评价结果

根据最大隶属度原则,PDS+栲胶法为综合评价指标下的优先考虑对象,其次为 HPF 法,而 TH 法的综合指标最差。可见,无论从脱硫装置本身的经济效益,还是从解决整个焦炉煤气净化系统设备和管道腐蚀问题来看,通过对以上脱硫工艺的分析得知,采用

以氨为碱源的脱硫工艺是我国焦炉煤气脱硫的最佳选择。

4 结 论

(1) 由于焦炉煤气脱硫技术评定的指标较多,故采用二级模糊综合评价的方法,所得结果反映了客观实际,具有普遍的借鉴意义。

(2) 评价结果表明,PDS+栲胶法是综合评价指标下的优先考虑对象,其次为HPF法,由此反映出以焦炉煤气中氨为碱源的脱硫工艺是当今国内外焦炉煤气净化技术发展趋势。

(3) 采用本文的评价方法,可为各焦化企业选用环境污染小、经济实用、技术可行的焦炉煤气脱硫工艺提供参考依据,从而进一步推动煤气净化工艺在焦化企业的实际应用。

(4) 通过选取综合评价指标最优的焦炉煤气脱硫工艺,可为环境保护部门制定焦化行业节能减排方针政策等提供科学依据。

参考文献:

- [1] Wakker J P. Analytical methods for coal and coal products[J]. Ind. Eng. Chem. Res., 1993, 32: 139-149.
- [2] Zhang W H. American experts talk about future coke making industry[J]. Fuel & Chemical Processes, 2000, 31(5): 225-228.
- [3] 江建方,肖波,杨家宽,等. 焦炉煤气净化工艺研究进展[J]. 化工环保, 2003, 23(1): 17-21.
Jiang Jianfang, Xiao Bo, Yang Jiakuan, et al. Progresses in research of purification processes for coke oven gas[J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2003, 23(1): 17-21.
- [4] 刘应明. 模糊集理论与应用[M]. 保定: 河北大学出版社, 1998: 1-50.
Liu Yingming. Fuzzy sets theory and applications[M]. Baoding: Hebei University Press, 1998: 1-50.
- [5] 王书肖,郝吉明,陆永琪,等. 火电厂烟气脱硫技术的模糊综合评价[J]. 中国电力, 2001, 34(12): 58-62.
Wang Shuxiao, Hao Jiming, Lu Yongqi, et al. Comprehensive fuzzy evaluation of flue gas desulphurization technologies for thermal power plant[J]. Electric Power, 2001, 34(12): 58-62.
- [6] 赵健植,金保升,仲兆平,等. 石灰石/石膏湿法烟气脱硫技术的模糊综合评价[J]. 锅炉技术, 2006, 37(6): 70-76.
Zhao Jianzhi, Jin Baosheng, Zhong Zhaoping, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of limestone/gypsum WFGD technologies[J]. Boiler Technology, 2006, 37(6): 70-76.
- [7] 姚仁仕,朱涛. 宝钢法脱硫脱氰的生产[J]. 宝钢技术, 2001(1): 10-13.
Yao Renshi, Zhu Tao. Baosteel desulphurization and decyanization process[J]. Baosteel Technology, 2001(1): 10-13.
- [8] 金学文,姚仁仕. 宝钢煤气精制三期煤气脱硫脱氢生产对比[J]. 煤化工, 2001, 32(3): 45-50.
Jin Xuewen, Yao Renshi. Comparison between three desulfuration and decyanation units in COG refining plant of Bao Steel[J]. Coal Chemical Industry, 2001, 32(3): 45-50.
- [9] 邓成平. 重钢新区焦炉煤气脱硫工艺研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007: 10-24.
Deng Chengping. Research on desulphurization process of coke-oven gas for new factory of Chongqing Iron & Steel Company Limited[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007: 10-24.
- [10] 张巨水. 焦化厂焦炉煤气脱硫脱氰工艺的选择[J]. 煤化工, 1999, 89(4): 21-23.
Zhang Jushui. Selection of processes for desulphurization and decyanation of coke oven gas[J]. Coal Chemical Industry, 1999, 89(4): 21-23.
- [11] Wang G D. Calculation on fume volume in coke oven charging emission control[J]. Fuel & Chemical Processes, 2002, 33(1): 14-17.
- [12] 刘尔烈,戴峙东. 模糊综合评价方法在工程项目社会评价中的应用[J]. 港工技术, 2002, 4(4): 20-22.
Liu Erlie, Dai Shidong. The application of a puzzle evaluation method in the society assessment of projects[J]. Port Engineering Technology, 2002, 4(4): 20-22.